

Factores de innovación en el proceso y factores de ecodiseño. Estudio de sus relaciones mediante AHP

Vicente Chulvi

Rosario Vidal

Universitat Jaume I. Dep. d'Enginyeria Mecànica i Construcció

Abstract

Innovation in industry is not only a product matter, but it also the manufacture process changes. Moreover, it frequently happens that when trying to achieve a more ecological product, the productive process varies. For that reason it is relevant to be able to determinate the relationship between the parameters addressed to value the process innovation and its ecological factor. The present work tries to link both evolutive patterns through expert query and the application of the multicriteria analysis technique of AHP with ratings. The tools of TRIZ, from which process innovations factors are deduced, and LiDS-wheel, from which eco-design factors are deduced, have been selected for this proposal.

Keywords: *Eco-Design; innovation; manufacture process; AHP; TRIZ*

Resumen

La innovación en la industria muchas veces no se produce únicamente en el producto, sino que muchas veces es el proceso productivo el que varía. Por otro lado, ocurre que frecuentemente cuando tratamos de producir un producto más ecológico, se hacen necesarios a su vez cambios en el proceso de producción. Por ello, se hace relevante el poder determinar la relación entre los parámetros dirigidos a valorar la innovación de un proceso y su factor ecológico. El presente artículo pretende ligar sendos patrones evolutivos a través de la consulta a expertos y la aplicación de la técnica de análisis multicriterio AHP con ratings. Para ello se han escogido las herramientas de TRIZ, de dónde se deducirán los factores para la innovación en el proceso, y LiDS-wheel, de dónde se deducirán los factores de ecodiseño.

Palabras clave: *Ecodiseño; innovación; proceso de fabricación; AHP; TRIZ*

1. Introducción

La innovación es un reto en el punto de mira de todas las empresas, tanto las que intentan crearse un hueco en el mercado actual como las más consolidadas para no verse sobrepasadas por la competencia. Sin embargo, la innovación en la industria muchas veces no se produce únicamente en el producto, sino que muchas veces es el proceso productivo el que varía. Por ello, diversos autores han versado sus investigaciones en la innovación en el proceso productivo (Zahera, 1996; Méndez, 1998).

Por otro lado, ocurre que frecuentemente cuando tratamos de producir un producto más ecológico, se hacen necesarios a su vez cambios en el proceso de producción. Por ello, se hace relevante el poder determinar la relación entre los parámetros dirigidos a valorar la innovación de un proceso y su factor ecológico.

El presente artículo pretende ligar sendos patrones evolutivos a través de la consulta a expertos y la aplicación de la técnica de análisis multicriterio AHP con ratings (Saaty, 1980). Para ello se ha escogido la herramienta de las líneas de evolución de TRIZ (Alsthsuller, 1984; Mann, 2003; Hipple, 2007), de dónde se deducirán los factores para la innovación en el proceso, la eco-rueda LiDS (Brezet & von Hemel, 1997), de dónde se deducirán los factores de ecodiseño.

2. Materiales y métodos

2.1 Líneas evolutivas de TRIZ

Las líneas de evolución, también conocidas como leyes de evolución de los sistemas técnicos, provienen de la idea de que todos los sistemas técnicos siguen unos patrones comunes de evolución, incluso si pertenecen a campos diferentes. De acuerdo con las teorías de Mann (2003), existen 31 líneas de evolución que englobarían todos los saltos tecnológicos posibles capaces de generar una solución innovadora a un problema tecnológico. Su uso estandarizado consiste en el análisis del potencial evolutivo de un objeto, esto es, dado un objeto se evalúa el nivel de evolución en que se encuentra para cada uno de los 31 parámetros existentes aplicable a dicho objeto.

El programa informático Creax Innovation Suite, elaborado a partir de la propuesta de Mann, presenta las 31 líneas separadas en niveles, útil para cuantificar el nivel de evolución que presenta un objeto dado en cada una de las líneas que le conciernen. La Figura 1 nos muestra un ejemplo de una línea evolutiva con todos sus niveles definidos. Con estos valores y una vez normalizados a una escala común, el programa elabora una matriz de tela de araña, tal y como muestra la Figura 2. En ella se ve un análisis que ha considerado once de las 31 líneas evolutivas. En la figura se puede apreciar de un simple vistazo que el parámetro menos evolucionado tecnológicamente es la reducción de la complejidad del sistema, mientras que la parte más evolucionada es la controlabilidad.

Figura 1: Línea de evolución “design point” (Fuente: Creax Innovation Suite)

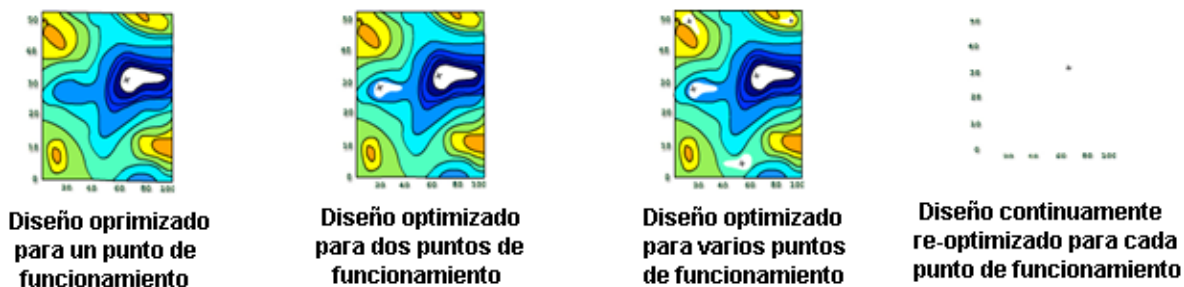


Figura 2: Representación abreviada en una gráfica de tela de araña del estado evolutivo de un objeto (Fuente: Creax Innovation Suite)



2.2 Eco-rueda LIDS

La rueda LiDS es una herramienta para el ecodiseño que propone un sistema de clasificación de las diferentes estrategias utilizadas en el campo del ecodiseño en ocho bloques. Cada uno de estos bloques o parámetros principales puede ser dividido a su vez en diferentes subparámetros, creando de este modo una organización taxonómica de términos ecológicos. En el uso de la herramienta, cada uno de los ocho parámetros se representa en como un eje en una gráfica de tela de araña (Figura 3), al igual que en el caso de las líneas evolutivas de TRIZ, pero en este caso los resultados se refieren al estado evolutivo del objeto en términos ecológicos en lugar de parámetros tecnológicos.

Las dos razones por las que se ha escogido estas dos herramientas, las líneas evolutivas de TRIZ y la eco-rueda LiDS, para realizar la comparación, son, por un lado, que ambas utilizan el análisis a través de una gráfica de tela de araña, y por otro que dispones de un número elevado de términos en ambas herramientas para poder realizar un análisis completo en profundidad.

Figura 3: Eco-rueda LiDS (Brezet and von Hemel, 1997)



2.3 Metodología del estudio

2.3.1 Selección de ítems

Puesto que tanto a la hora de innovar tecnológicamente como cuando se trata de desarrollar un producto ecológico existen multitud de factores implicados que afectan a la producción del objeto, el primer paso para relacionar los factores de innovación en el proceso con los factores de ecodiseño consiste en discernir cuales de los parámetros de innovación y ecológicos se refieren únicamente al producto.

Por tanto, de las 31 líneas de evolución iniciales, para el presente estudio han sido seleccionadas 17, tal y como muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Factores de innovación tecnológica relativos al producto

		Factor
Producto	Material	Materiales adaptativos en forma
		Incremento del uso de fibras y mallas
		Materiales menos densos
	Forma	Producto final altamente segmentado
		Producto final hueco o poroso
		Producto final con rugosidad superficial
		Producto final más pequeño
		Incremento de curvas, formas y asimetrías en el producto final
	Aspecto (estética)	Aumento de la cantidad de sentidos sobre los que actúa el producto final
		Aumento de la variedad de colores utilizados en el producto final
		Incremento de la transparencia del producto final
	Uso	Aspecto funcional
Producto final compuesto de varios sub-productos diferentes		
Producto final con formas diferenciadas para realizar funciones diferentes		
Diseño del producto		Reducción de las partes diferenciadas del producto (límites físicos)
		Producto optimizado para diversas condiciones de uso
		Producto diseñado utilizando más variables o parámetros de diseño

Por su parte, de los sub-parámetros de la eco-rueda LiDS, se han seleccionado como referentes al proceso los siguientes:

- Técnicas alternativas
- Menor número de pasos
- Menor consumo de energía
- Menor cantidad de residuo
- Menor cantidad de consumibles
- Consumibles auxiliares más limpios
- Menores exigencias de embalaje
- Menores exigencias de transporte

2.3.2 Cuestionario a expertos









Con los parámetros seleccionados en el punto anterior se ha elaborado una matriz 17x8. Cada celda de la matriz se refiere, por tanto, a la relación entre un parámetro tecnológico y otro medioambiental. Se ha estipulado una escala de siete puntos para valorar el tipo de relación entre sendos parámetros, que comprende los valores:

- Muy positiva
- Positiva
- Ligeramente positiva
- Neutra
- Ligeramente negativa
- Negativa
- Muy negativa

Con ellos se pretende valorar si una mejora o evolución en un factor de innovación tecnológica causa una mejora en un factor medioambiental del proceso, o si por el contrario lo perjudica, y en que intensidad se produce dicha interacción.

La encuesta ha sido enviada a un conjunto de 12 expertos: 6 en ecodiseño y los otros 6 en innovación tecnológica. El encuestado deberá responder con uno de dichos valores para cada celda de la matriz. Así, por ejemplo, si considera que la tendencia de “aumentar el uso de fibras y mallas” ayudará en gran medida a que el proceso de fabricación requiera de “menor consumo de energía”, en la casilla de interacción de sendos factores marcará la opción “muy positiva”. Sin embargo, si considera que la línea de evolución tecnológica “incremento de curvas y formas asimétricas” no sólo no ayuda, sino que empeora el parámetro medioambiental de “menores exigencias de embalaje”, marcará la interacción con la opción “negativa”. La Figura 4 muestra un extracto de la encuesta que se ha pasado a los expertos para su respuesta.

Figura 4: Extracto de la encuesta

		Permite una fabricación del producto con:		
		Técnicas alternativas	Menor número de pasos	Menor consumo de energía
Material	Materiales adaptativos en forma 			
	Incremento del uso de fibras y mallas 			
	Materiales menos densos 			
Forma	Producto final altamente segmentado 			
	Producto final hueco o poroso 			
	Producto final con rugosidad superficial 			
	Producto final más pequeño 			
	Incremento de curvas, formas v asimétricas 			

2.3.3 ponderación AHP

Los resultados de los cuestionarios respondidos por los doce expertos se han analizado utilizando el AHP con ratings (Saaty, 1980). Para ello, en primer lugar se han calculado los pesos ponderados de cada valor posible de las interacciones descritas, obteniendo el valor normalizado para cada nivel de la escala empleada en las preguntas (Tabla 2).

La conversión de la escala en valores ponderados permitirá determinar el valor considerado para cada interacción utilizando la media geométrica de las opiniones de los expertos consultados.




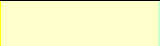



Tabla 2. AHP con ratings para la obtención de los pesos normalizados de cada nivel de la escala empleada

	Muy negativo	Negativo	Lig. negativo	Neutro	Lig. positivo	Positivo	Muy positivo	Media geométrica	Valor normalizado	
	1	2	3	4	5	6	7			
Muy negativo	1	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,296	0,143
Negativo	2	2,00	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,592	0,286
Ligeramente negativo	3	3,00	1,50	1,00	0,75	0,60	0,50	0,43	0,888	0,429
Neutro	4	4,00	2,00	1,33	1,00	0,80	0,67	0,57	1,183	0,571
Ligeramente positivo	5	5,00	2,50	1,67	1,25	1,00	0,83	0,71	1,479	0,714
Positivo	6	6,00	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00	0,86	1,775	0,857
Muy positivo	7	7,00	3,50	2,33	1,75	1,40	1,17	1,00	2,071	1,000

3. Resultados

La tabla 3 nos muestra los rangos de valores normalizados comprendidos en cada nivel de la escala utilizada, así como los colores que se utilizarán para una mejor interpretación de los mismos y el valor otorgado para realizar el contraste en el análisis posterior.

Tabla 3. Valores, rangos y codificación

Valor	Muy negativo	Negativo	Ligeramente negativo	Neutro	Ligeramente positivo	Positivo	Muy positivo
Rango	[0- 0,14[[0,14- 0,29[[0,29-0,43[[0,43-0,57[[0,57-0,71[[0,71-0,86[[0,86-1]
Color							
Contraste	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3

Así, en la Tabla 4 se pueden ver los valores medios normalizados obtenidos a partir de las respuestas de los 12 expertos consultados. Además del valor normalizado medio, en la tabla se puede apreciar la codificación por colores descrita anteriormente, por lo que en un simple vistazo se puede apreciar si cada línea de evolución tecnológica tiene un efecto positivo, negativo o neutro, y en qué grado, sobre cada uno de los parámetros de mejora medioambiental representados en las columnas.

Tabla 4. Valores medios normalizados de las interacciones entre factores tecnológicos y medioambientales

	Técnicas alternativas	Menor número de pasos	Menor consumo de energía	Menor cantidad de residuo	Menor cantidad de consumibles	Consumibles auxiliares más limpios	Menores exigencias de embalaje	Menores exigencias de transporte
Materiales adaptativos en forma	0,79	0,50	0,54	0,62	0,54	0,54	0,57	0,56
Incremento del uso de fibras y mallas	0,77	0,46	0,55	0,49	0,49	0,57	0,57	0,67
Materiales menos densos	0,70	0,56	0,66	0,60	0,55	0,57	0,54	0,73
Producto final altamente segmentado	0,71	0,44	0,46	0,65	0,52	0,55	0,61	0,64
Producto final hueco o poroso	0,73	0,57	0,62	0,59	0,53	0,55	0,54	0,71
Producto final con rugosidad superficial	0,74	0,49	0,44	0,51	0,53	0,55	0,52	0,54
Producto final más pequeño	0,70	0,59	0,61	0,67	0,57	0,55	0,68	0,75
Incremento de curvas, formas y asimetrías en el producto final	0,74	0,37	0,36	0,52	0,47	0,55	0,33	0,50
Aumento de la cantidad de sentidos sobre los que actúa el producto final	0,69	0,46	0,47	0,51	0,46	0,53	0,54	0,57
Aumento de la variedad de colores utilizados en el producto final	0,62	0,41	0,47	0,47	0,39	0,48	0,55	0,57
Incremento de la transparencia del producto final	0,64	0,47	0,53	0,53	0,48	0,50	0,54	0,57
Producto final compuesto de varios sub-productos iguales	0,67	0,50	0,57	0,60	0,51	0,57	0,54	0,54
Producto final compuesto de varios sub-productos diferentes	0,71	0,40	0,51	0,51	0,43	0,51	0,48	0,54
Producto final con formas diferenciadas para realizar funciones diferentes	0,76	0,36	0,44	0,56	0,49	0,53	0,44	0,52
Reducción de las partes diferenciadas del producto (límites físicos)	0,73	0,60	0,52	0,63	0,53	0,57	0,59	0,61
Producto optimizado para diversas condiciones de uso	0,68	0,59	0,62	0,59	0,49	0,55	0,55	0,55
Producto diseñado utilizando más variables o parámetros de diseño	0,73	0,51	0,56	0,67	0,55	0,57	0,57	0,57

Para calcular el global del efecto de cada línea de evolución tecnológica se utilizan, por un lado el valor promedio de las diferentes interacciones entre dicha línea de evolución y cada

uno de los parámetros medioambientales contrastados, y por otro la comparación entre el valor positivo y negativo de cada una de las interacciones utilizando los valores de contraste de la Tabla 3. El resultado final de sendas comparaciones puede verse en la Tabla 5:

Tabla 5. Potencial ecológico de las líneas de evolución tecnológica

	Media	Contraste
Materiales adaptativos en forma	0,582	+4
Incremento del uso de fibras y mallas	0,572	+5
Materiales menos densos	0,613	+6
Producto final altamente segmentado	0,574	+4
Producto final hueco o poroso	0,605	+7
Producto final con rugosidad superficial	0,539	+2
Producto final más pequeño	0,641	+8
Incremento de curvas, formas y asimetrías en el producto final	0,481	-1
Aumento de la cantidad de sentidos sobre los que actúa el producto final	0,529	+2
Aumento de la variedad de colores utilizados en el producto final	0,497	0
Incremento de la transparencia del producto final	0,532	+2
Producto final compuesto de varios sub-productos iguales	0,563	+4
Producto final compuesto de varios sub-productos diferentes	0,511	+1
Producto final con formas diferenciadas para realizar funciones diferentes	0,512	+1
Reducción de las partes diferenciadas del producto (límites físicos)	0,598	+7
Producto optimizado para diversas condiciones de uso	0,578	+4
Producto diseñado utilizando más variables o parámetros de diseño	0,592	+6

4. Conclusiones

Del análisis mostrado en el presente trabajo se puede ver cómo, si bien la mayoría de los parámetros de innovación en el producto son coherentes con los parámetros de mejora medioambiental, existen un parámetros que han sido definido como neutro, y otro de ellos como contraproducente. En cualquier caso, las medias obtenidas muestran que las posturas, tanto favorables como la no favorable, no son muy fuertes en términos globales. Si se ven las interacciones factor a factor, se observa que de las 136 interacciones posibles, 71 han sido consideradas como neutras, 44 como ligeramente positivas, 13 como positivas y 8 como ligeramente negativas. En ningún caso ha habido una postura extrema de muy positivo o muy negativo en ninguna interacción.

En resumen, sólo hay ocho casos concretos en que un parámetro innovador es contraproducente con un factor medioambiental, y los ocho se concentran en cuatro parámetros innovadores. A pesar de ello, estas interacciones adversas se compensan en los cuatro casos hasta dejarlos a niveles casi neutros, tal y como muestran las medias y contrastes de la tabla 5, en dónde se ve que el parámetro innovador “Aumento de la variedad de colores utilizados en el producto final” tiene un valor neutro (media de

aproximadamente 0,5 y contraste de 0), “producto final compuesto de varios sub-productos diferentes” y “producto final con formas diferenciadas para realizar funciones diferentes” presentan unos valores positivos muy bajos (media 0,51 y contraste +1) y “incremento de curvas, formas y asimetrías en el producto final”, que es el único cuya resultante es negativa, pero también por muy poco (media 0,48 y contraste -1).

El resto de los aspectos innovadores se han declarado como favorables a la mejora medioambiental, si bien los valores justificativos no han resultado muy elevados, viéndose que en sólo dos de ellos se ha superado el 0,6 de media: “producto final hueco o poroso” y “producto final más pequeño”, con unos contrastes de +7 y +8 respectivamente.

Con todo ello se puede concluir que los patrones de innovación tecnológica son parcialmente positivos o, como mínimo, no contraproducentes, para lograr una mejora medioambiental en su fase de producción en términos generales, con la única excepción poco clara del “incremento de curvas, formas y asimetrías en el producto final”. Aún así, también se ha demostrado que en algunos aspectos específicos se tiene que consultar si dicha mejora tecnológica no causará un retroceso medioambiental en algún parámetro aislado.

Paralelamente, el estudio sirve para ver en que líneas se ha de avanzar tecnológicamente para conseguir un mayor beneficio medioambiental en su fase de producción, al mismo tiempo que mantenemos el nivel de innovación para no perder fuerza en el mercado.

2.8 Referencias

- Altshuller, G. (1984). *Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems*. Luxembourg: Gordon and Breach Science Publishers.
- Brezet H., & von Hemel C.,(1997). *Ecodesign. A promising approach to sustainable production and consumption*. France.
- Hipple, J., & Reeves, M. (2007). *The use of TRIZ to increase the value of intellectual property*. Atlanta, GA: Licensing Executive Society.
- Mann, D. (2003). Better technology forecasting using systematic innovation methods. *TF Highlights from ISF 2002*, 8, 779-795.
- Méndez, R. (1998). Innovación tecnológica y reorganización del espacio industrial: una propuesta metodológica. *EURE (Santiago)*, 24(73).
- Saaty T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Zahera, M. (1996). Las pymes españolas y la innovación. En: *Harvard Deusto Business Review*, 74, 62-66. España: Ediciones Deusto

Correspondencia (Para más información contacte con):

Vicente Chulvi Ramos
Universitat Jaume I. Dep. d'Enginyeria Mecànica i Construcció
Phone: + 34 964 728113 Fax: + 34 964 728106
E-mail: chulvi@uji.es